

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde  
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Karl Eichner)  
des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Freien Universität Berlin

---

ÜBER DEN EINFLUSS DES ZEMENTES AUF DEN  
RANDSCHLUSS PASSGENAUER KRONEN  
BEI VERSCHIEDENEN PRÄPARATIONSFORMEN  
DER ZAHNSTÜMPFE

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde  
an den Medizinischen Fachbereichen  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Zahnärztin Helga Demmel, geb. Richter  
aus Berlin

1971



Digitized by the Internet Archive  
in 2026





Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde  
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Karl Eichner)  
des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Freien Universität Berlin

---

ÜBER DEN EINFLUSS DES ZEMENTES AUF DEN  
RANDSCHLUSS PASSGENAUER KRONEN  
BEI VERSCHIEDENEN PRÄPARATIONSFORMEN  
DER ZAHNSTÜMPFE

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde  
an den Medizinischen Fachbereichen  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Zahnärztin Helga Demmel, geb. Richter  
aus Berlin

Referent: Professor Dr. med. dent. Karl Eichner

Korreferent: Professor Dr. med. Dr. med. dent. Raimund Harndt



Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fachbereiche der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 5. 5. 1971

Meinem Mann



## INHALTSVERZEICHNIS

|     |                                                            |    |
|-----|------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Einleitung                                                 | 7  |
| 2.  | Allgemeiner Teil                                           | 9  |
| 3.  | Spezieller Teil                                            | 14 |
| 3.1 | Versuchsplanung                                            | 14 |
| 3.2 | Versuchsformen und Geräte                                  | 16 |
| 3.3 | Prinzip der Messung                                        | 20 |
| 3.4 | Allgemeine Ergebnisse anhand<br>theoretischer Überlegungen | 22 |
| 3.5 | Versuchsergebnisse                                         | 26 |
| 3.6 | Statistische Bewertung der Meßreihen                       | 31 |
| 4.  | Diskussion                                                 | 35 |
| 5.  | Schlußfolgerungen                                          | 40 |
| 6.  | Zusammenfassung                                            | 41 |
| 7.  | Literaturverzeichnis                                       | 42 |
| 8.  | Anhang                                                     | 46 |
| 9.  | Lebenslauf                                                 |    |



## 1. EINLEITUNG

Bei der Wiederherstellung des defekten Zahnes durch Kronen ist der genaue Sitz der künstlichen Krone auf dem präparierten Zahnstumpf von großer Wichtigkeit. Es gibt eine Anzahl von Untersuchungen, die darüber referieren, wie die Fehler bei zahnärztlichen Gußarbeiten verringert werden können und wie möglichst gut anliegende Kronen herzustellen sind (DREYER-JØRGENSEN (5), WEIKART (30), FUSAYAMA (12), ZÄHRINGER (31), OEHLKE (19)). Klinisch bedeutsam ist, daß keine Krone ohne ein Befestigungsmittel eingegliedert werden kann. Es ergeben sich somit zwei Fragen :

1. wie beeinflußt das Befestigungsmittel zwischen Krone und Zahnstumpf den Sitz paßgenauer Kronen, und
2. durch welche Präparationsform läßt sich die zementbedingte zervikale Diskrepanz auf ein Minimum reduzieren ?

Es ist stets erstrebenswert, Untersuchungen unter klinischen Bedingungen durchzuführen. Messungen der Paßgenauigkeit sind aber im Munde nicht möglich, da die Bezugspunkte für eine solche Messung nicht eindeutig und nicht reproduzierbar festgelegt werden können. Sinnvoll erscheinen zu diesen Fragen nur Laborversuche. Messungen an natürlichen Zähnen, d.h. manuell präparierten Zahnstümpfen und gegossenen Kronen, scheiden von vornherein aus, da die Variabilität des natürlichen Zahnes und seine manuelle Präparation durch den Zahnarzt zu große Fehlerquellen für reproduzierbare Messungen in sich tragen. Ebenso bedeutet die Gußungenauigkeit bei der üblichen Herstellung der Kronen einen Unsicherheitsfaktor. Eine Aussage über den alleinigen Einfluß des Befestigungszementes läßt sich nur machen, wenn die Versuche an werkstattmäßig hergestellten, dreh- und zugsymmetrischen Zahnstümpfen verschiedener, stilisierter Präparationsformen und dazu exakt passenden ebenso hergestellten Kronen durchgeführt werden.

Im Folgenden soll der Einfluß des Befestigungsmittels Phosphatzement anhand zweier verschiedener Fabrikate auf den Randschluß paßgenauer Kronen bei sechs verschiedenen, stilisierten Präparationsformen untersucht werden. Weiterhin wird geklärt, durch welche Präparationsform sich die zervikale Diskrepanz auf ein Minimum reduzieren läßt. Hierbei werden nicht nur die unterschiedlichen Zementsorten (Fein- und Mittelkornzement, klassifiziert nach der FDI-Spezifikation Nr. 6) berücksichtigt, sondern auch der Einfluß unterschiedlicher Kräfte beim Zementieren.

## 2. ALLGEMEINER TEIL

Einige Faktoren, die die Schichtdicke des Zementes zwischen Zahn und Krone beeinflussen, hat DREYER-JØRGENSEN (9) untersucht. Er fand, daß sowohl die Viskosität des Zementbreies entscheidend ist, als auch die geringstmögliche Schichtdicke durch die effektive Korngröße bestimmt wird. Die größten Körner im Zementpulver werden beim Zementieren unter Druck noch weiter zerbrochen, die verbleibende Korngröße bezeichnet DREYER-JØRGENSEN als effektive Korngröße. Er kam zu der Ansicht, daß ein Zement um so besser ist, je feiner die Körnung ausfällt.

Auch PHILLIPS und SKINNER (23) fanden eine Abhängigkeit der Schichtdicke des Zementes von seiner Korngröße. CRAMER (3) stellte fest, daß nicht so sehr die maximale Korngröße als vielmehr die Korngrößenverteilung im Pulver entscheidend für die Schichtdicke ist.

Untersuchungsergebnisse der Eigenschaften von Zementen sind unter anderem abhängig von der Versuchsmethode. Um vergleichende Untersuchungen mit reproduzierbaren Ergebnissen möglich zu machen, schlugen 1934 PAFFENBARGER und Mitarb. (21) eine Prüfvorschrift vor. Diese Spezifikation zur Beurteilung von Zinkphosphatzementen ist erstmalig 1937 von der American Dental Association veröffentlicht worden (20). Heute muß die FDI-Spezifikation Nr. 6 (11) als verbindlich angesehen werden. Die nach ihren Bestimmungen ermittelte Schichtdicke des Zementes wird als Filmdicke bezeichnet. Daß verschiedene Phosphatzemente zum Teil recht erheblich unterschiedliche Filmdicken bei gleicher Konsistenz aufweisen können, zeigen Untersuchungen von PHILLIPS u.a. (22) und H.-J. DEMMEL (4).

Ausgehend von den Prüfvorschriften der Spezifikation hat CRAMER (3) das Pulver/Flüssigkeits-Mischungsverhältnis verändert. Eine Erhöhung oder Verminderung des Pulveranteils um 10% der nach der Spezifikation bestimmten Standardkonsistenz verändert kaum die Filmdicke. GODT (15) fand dagegen, daß eine Verringerung des Pulveranteils um die Hälfte die Zementfilmdicke bei einem Teil der von ihm geprüften Zemente bei niedrigem Zementierungsdruck wesentlich herabsetzt. Bei hohem Zementierungsdruck war kaum noch ein Unterschied feststellbar.

Vergleichende Untersuchungen zur Abhängigkeit der Filmdicke vom Zementierungsdruck führte CRAMER (3) aus. Er stellt fest, daß die Schichtdicke bei steigendem Druck abnimmt, sich jedoch asymptotisch einem Grenzwert nähert. Der Grenzwert für die Filmdicke ist bei  $2,01 \text{ cm}^2$  großen Platten bei etwa 9 kg erreicht; das entspricht einem Druck von  $4,5 \text{ kp/cm}^2$ .

PORSCHE (25) fand den Grenzwert bei  $1 \text{ cm}^2$ -großen Platten bei ca.  $12 \text{ kp/cm}^2$ . FUSAYAMA (13) berichtet ebenfalls über eine Verringerung der Schichtdicke durch Erhöhung des Druckes, ohne aber Werte zu nennen.

Neben diesen allgemeinen Überlegungen und Versuchen über die Zementschicht zwischen zwei ebenen Platten sind auch Untersuchungen veröffentlicht worden, die auf die speziellen Bedingungen eingehen, die beim Zementieren von Kronen auf Zahnstümpfe herrschen.

HEGDAHL und SILLNESS (16) betonen, daß durch das Zementieren Kronenrand und Präparationsgrenze niemals aufeinander liegen können. Daraus resultiert, daß es zwischen Krone und Zahn stets einen zervikalen Randspalt geben muß.

Zu den Fragen, wie die zervikale Diskrepanz durch Zementierungsdruck, Anpreßdauer, Konsistenz bzw. Viskosität des Befestigungsmittels, Präparationswinkel, Präparationsform und Abflußerleichterungen für den Zement beim Einsetzen der Krone beeinflußt wird, haben mehrere Autoren Stellung genommen.

DREYER-JØRGENSEN (7) stellte Untersuchungen an, wie Druck, Dauer des Druckes und Konvergenzwinkel die Schichtdicke beeinflussen. Er benutzte Kunststoff als Material für den Zahnstumpf mit passenden stilisierten Messingkronen und fand, daß die Schichtdicke von ca. 5 kp an nicht mehr wesentlich verringert werden konnte, ebenso nicht die zervikale Diskrepanz. Auch brachte eine Belastung über die Zeit von zwei Minuten hinaus keine Verbesserung. Entscheidend fand er den Konvergenzwinkel des präparierten Zahnstumpfes. Eine Zunahme des Konvergenzwinkels von  $5^{\circ}$  auf  $20^{\circ}$  bewirkt eine deutliche Abnahme der zervikalen Diskrepanz. Ein Winkel von  $15^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  würde auch die Forderungen DREYER-JØRGENSENS (6) hinsichtlich der Retention noch erfüllen. Die Ergebnisse über die Beeinflussung der Schichtdicke gewann DREYER-JØRGENSEN (7) aus je drei Einzelmessungen, deren Werte sich im Grenzbereich nicht mehr signifikant voneinander unterschieden.

FUSAYAMA, IDE und HOSADA (14) untersuchten, welche Einflüsse Zementierungsdruck und Präparationsform auf die Schichtdicke haben. Sie benutzten für ihre Versuche manuell präparierte Zahnstümpfe mit gegossenen Kronen. Die Stümpfe waren auf der einen Seite stufig präpariert und auf der anderen einfach-konisch (gemeint ist : konisch ohne Stufe). Eine Versuchsreihe war mit kleinem Konvergenzwinkel präpariert, die andere mit größerem. Sie fanden, daß auch eine Erhöhung des Zementierungsdruckes von 15 kp auf 50 kp die Zementdicke auf der zervikalen Stufe nicht weiter verringert. Je konischer präpariert wird, desto

besser ist der Randschluß, jedoch wird die Retention stetig schlechter. Die Autoren fanden weiter, daß bei Schulterpräparation eine größere Zementschicht freiliegt als bei der einfach-konischen Präparation.

HEGDAHL und SILLNESS (16) äußern sich ebenfalls zu der Frage, welchen Einfluß unterschiedliche Stumpf-Präparationsformen auf die zervikale Zementfläche haben. Rein theoretisch stellen sie fest, daß bei einfach-konischer Präparation zervikal eine kleinere Zementfläche exponiert ist als bei Präparation mit Schulter. Von den Schulterpräparationen wiederum wiesen die mit schräger Schulter gegenüber denen mit rechtwinkliger Stufe eine deutliche Verringerung der freiliegenden Zementfläche auf.

PLISCHKA (24) äußerte sich zu der Frage Stufen- bzw. stufenlose Präparation dahingehend, daß zwar die konische Präparation auch bei unvollkommenem Sitz der Krone keine wesentliche Verschlechterung der zervikalen Diskrepanz mit sich bringt, die Präparationsgrenze jedoch nur schwer zu bestimmen ist. Daher fordert PLISCHKA die Stufenpräparation mit Hohlkehle, da er meint, daß der scharfe Winkel bei Stufenpräparation den Zementabfluß behindert, und es so zum mangelhaften Sitz der Krone kommen muß.

Wie schon erwähnt hat DREYER-JØRGENSEN (6) auch umfangreiche Untersuchungen über die Abhängigkeit der Retention der Gußkrone vom Präparationswinkel durchgeführt. Er stellte fest, daß beide Größen nach einer hyperbolischen Funktion voneinander abhängig sind, und er empfahl, einen Konvergenzwinkel zwischen  $15^{\circ}$  und  $20^{\circ}$  zu präparieren.

Einige Autoren versuchten den Kronensitz auf dem Zahnstumpf dadurch zu verbessern, daß sie den Abfluß des überschüssigen Zementes durch besondere Maßnahmen erleichterten. So perforierte LANGE (18) z.B. die Kronen okklusal vor dem Zementieren, um so den Gegendruck des eingeschlossenen, zähflüssigen Zementes aufzuheben und den Sitz der Kronen zu verbessern.

Auf diesen Untersuchungen aufbauend, fand auch DREYER-JØRGENSEN (7) an seinen Modelluntersuchungen eine Abnahme der zervikalen Diskrepanz bei okklusaler Perforation der Kronen. Dies zeigte sich besonders deutlich bei steilem Präparationswinkel. Bei seinen vergleichenden Untersuchungen variierte er mehrere Versuchsbedingungen gleichzeitig, es stimmten Zementierungsdruck, Dauer des Druckes und Pulver/Flüssigkeitsverhältnis beider Versuchsreihen nicht überein.

Als günstig für einen besseren Sitz empfehlen FUSAYAMA (14), JONES (17), SELBERG (27) und SHOOSHAM (28) ebenfalls die okklusale Perforation der Kronen vor dem Zementieren.

Weitere Methoden, um für den überschüssigen Zement Raum zu schaffen, gibt SULLIVAN (29) an. Er schleift in den okklusalen Rand des Zahnstumpfes vier Kerben, um den Zementabfluß zu erleichtern. Zusätzlich belegt er den Modellstumpf, ausgenommen am zervikalen Rand, mit Zinnfolie, um den Zementraum zu vergrößern. BASSETT (2) ätzt das Kroneninnere nach dem Guß aus dem gleichen Grunde.

### 3. SPEZIELLER TEIL

#### 3.1 Versuchsplanung

Bei der Versuchsplanung wurden zuerst die Faktoren bestimmt, die den Sitz der Krone auf dem Zahnstumpf negativ beeinflussen können. Als wesentlich erschienen :

1. ungenaue manuelle Präparation des Zahnes,
2. Ungenauigkeiten beim Abdruck,
3. Gußungenauigkeiten,
4. fehlerhaftes Aufsetzen (Verkanten) der Krone.

Wie einleitend bereits dargestellt, sind reproduzierbare Messungen des Kronensitzes nur in vitro möglich. Um nun einerseits die obengenannten Fehlerquellen des natürlichen Zahnes und der dazugehörigen Gußkrone auszuschalten und andererseits gute Möglichkeiten für Messungen zu schaffen, wurden für die Versuche drehrunde Stahlformen gewählt. Diese gleichen in ihren Maßen und der Form stilisiert präparierten Zähnen, und dazu passen Gegenstücke, die sogenannten Kronen.

Trotz der einfachen, geometrischen Art der Prüfformen ist noch eine Ungenauigkeit durch verkantetes Aufsetzen der Krone auf den Stumpf während des Zementierens denkbar. Um auch diese Fehlerquelle auszuschalten, muß die stilisierte Krone durch eine Hilfsvorrichtung in Achsenrichtung geführt werden, um so alle Faktoren, die den Sitz der Krone nachteilig beeinflussen, auszuschalten, und der Einfluß des Zementierens allein erkennbar wird.

Aber auch der Befestigungszement kann Ursache für schlecht oder gar nicht reproduzierbare Ergebnisse sein. Es muß mit einer stets gleichartigen Zementpaste gearbeitet werden. Da der Zement aber manuell aus Pulver und Flüssigkeit gemischt wird, sind geringe Qualitätsunterschiede unvermeidlich und ursächlich auch für eine Streuung der Meßwerte verantwortlich. Um diese Fehler auf ein Minimum zu reduzieren, wurde auf Gleichmäßigkeit und große Fertigkeit im Anmischen Wert gelegt. Zahlreiche Vorversuche nach den Prüfvorschriften der FDI-Spezifikation Nr. 6 dienten diesem Ziel. Zur Kontrolle konnten die bekannten Filmdickenmessungen nach dieser Spezifikation herangezogen werden. Erst nach dieser Vorbereitungsphase begannen die Hauptversuche.

Alle Versuche wurden ausschließlich in einem klimatisierten Raum vorgenommen, in dem sowohl die Werkstoffen als auch die Formen und Geräte, wie Anrührspatel, Glasplatten, Meßinstrumente usw., aufbewahrt worden waren. In diesem Raum herrschte eine ständige Temperatur von  $23^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ grad.}$  und eine relative Luftfeuchte von  $60\% \pm 5$ . Die Klimawerte registrierte laufend ein Thermohygrograph. Dieses Prüfklima liegt innerhalb der von der FDI-Spezifikation Nr. 6 geforderten Grenzen von  $23^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ grad.}$  und 55 - 75% relative Feuchte.

### 3.2 Versuchsformen und Geräte

Als Prüfformen dienten sechs unterschiedliche, charakteristische Präparationsformen für Gußkronen wie sie von EICHNER (10) zusammengestellt worden waren (Abb. 1) :

Form 1 entspricht einer steil-konischen Stumpfpräparation

Form 2 stellt eine flach-konische Form dar

Form 3 entspricht der Präparation einer schrägen zirkulären Schulter mit scharfer Außenkante

Form 4 zeigt den Typ der Hohlkehlenpräparation

Form 5 weist eine gerade zirkuläre Schulter mit rechtwinkliger Kante auf

Form 6 stellt eine gerade Schulterpräparation mit gebrochener Kante (Federrand) dar.

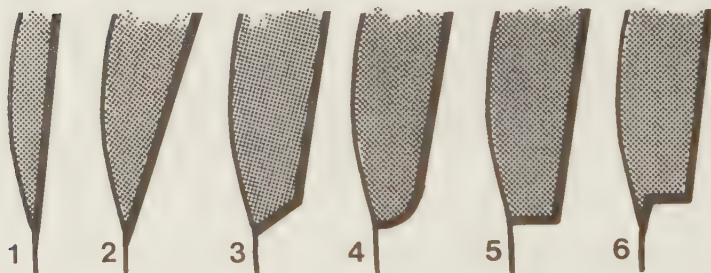


Abb. 1 Unterschiedliche Präparationsformen

Alle Präparationsformen werden klinisch angewendet. Die Konvergenzwinkel liegen ebenfalls im klinischen Bereich und innerhalb der von DREYER-JØRGENSEN (6) geforderten  $15^{\circ}$  bis  $20^{\circ}$ . Eine Ausnahme bildet die Form 2 mit einem Konver-

genzwinkel von  $32^\circ$ . Diese flach-konische Präparation wurde absichtlich gewählt, um mögliche Unterschiede zwischen flacher und steiler Präparation deutlich zu machen. Die Maße entsprechen den klinischen Gegebenheiten in stilisierter Form. Die Modelle lassen sich in zwei Gruppen gliedern (Abb. 2) :

1. Modelle mit einfach-konischer Präparationsform,
2. Modelle mit stufigen Präparationsformen.

Die genauen Maße sind aus den Skizzen im Anhang ersichtlich.

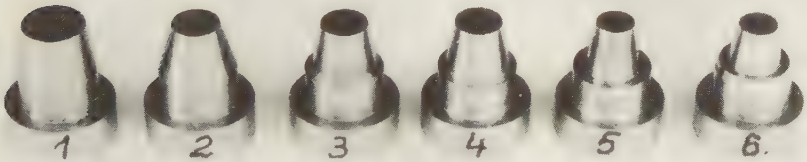


Abb. 2 Modellstümpfe der Formen 1 bis 6

Die Herstellung dieser Modellstümpfe (Patrizen) ebenso wie die der Gegenstücke, der sogenannten Kronen (Matrizen), erfolgte durch eine feinmechanische Firma für Werkzeugbau <sup>1)</sup> auf einer optischen Profilschleifmaschine. Die genaue Anpassung von Patrizie und Matrizie wurde durch Erodierung mit einer Paßgenauigkeit von mindestens 0,005 mm vorgenommen.

---

<sup>1)</sup> Firma Richard Sander, Berlin-Britz

Die Kronen (Matrizen) sind außen zylindrisch gestaltet und besitzen einen Füh-



ungsstab am oberen Ende (Abb. 3). Mit Hilfe dieses Stabes können die Prüfformen in einen Apparat eingespannt werden, der ein achsengerechtes Aufsetzen der Kronen auf die Stümpfe garantiert. Dieses Gerät soll eine Änderung des Zementierungsdruckes erlauben und außerdem das direkte Messen des Abstandes von Krone zu Stumpf in axialer Richtung gestatten.

Als ein brauchbares Gerät für diese Zwecke erwies sich das Haake-Konsistometer <sup>1)</sup> (Abb. 4).

Das Konsistometer besteht aus dem Grundgerät mit der Belastungseinrichtung und der Meßeinrichtung. Der Hebelarm, an den die Gewichte angehängt werden, wirkt direkt auf die exakt geführte Schubstange, mit der die Kronen fest verschraubt werden. Das erlaubt ein achsengerechtes, genaues Aufsetzen der Matrizen auf die Patrizen, die auf einer zur Achsenrichtung rechtwinkligen

der Prüfform 2

Platte stehen. Die Meßuhr ist direkt mit dieser Schubstange gekoppelt. Schubstange und Hebelarm sind arretierbar, sodaß eine ruckfreie Belastung durch langsames

---

<sup>1)</sup> Hersteller : Firma Gebr. Haake, Berlin

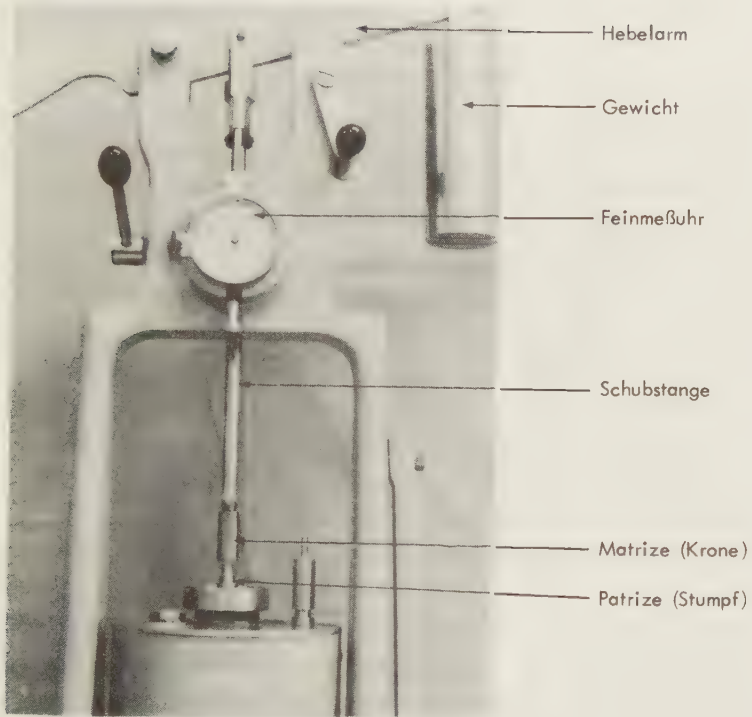


Abb. 4 Haake-Konsistometer mit Prüfform

Herablassen möglich ist. Die Meßstrecken werden auf der Meßuhr abgelesen, die einen Bereich von 30 mm und eine Teilung von 0,01 mm hat. Da die Teilstriche in einem Abstand von 1,5 mm angebracht sind, können Meßstrecken auf etwa 0,002 mm genau geschätzt werden. Die Ablesegenauigkeit liegt also bei  $\pm 1 \mu\text{m}$ .

### 3.3 Prinzip der Messung

Jeder Versuch begann mit der Bestimmung des Nullwertes, den die Meßuhr anzeigte, wenn die Krone ohne Zement auf den Stumpf mit Last aufgesetzt und wieder entlastet wurde. Die Messung erfolgte stets ohne Last mehrmals bis zum Erreichen eines reproduzierbaren Wertes. Nötigenfalls mußte die Montage der Einzelteile kontrolliert und korrigiert werden. Die Anmischung des Zementes richtete sich nach den Anweisungen der FDI-Spezifikation Nr. 6. Diese beschreiben, auf welche Weise das Zementpulver portionsweise innerhalb von einundneinhalb Minuten in die Säure eingespatelt werden soll. Anschließend galt es, die Wand der Prüfform dünn mit Zement zu beschichten. Dann konnte die Schubstange mit der Kronenform langsam auf den Zahnstumpf herabgelassen und arretiert werden. Erst jetzt erfolgte das Aufsetzen des Hebelarmes mit den Gewichten. Drei Minuten nach Mischungsbeginn wurde die Arretierung langsam gelöst, sodaß die volle Last ruckfrei auf die Zementschicht wirkte. Zehn Minuten nach Mischungsbeginn konnte entlastet und der Wert auf der Meßuhr abgelesen werden.

Die Meßuhr zeigt direkt die Höhendifferenz der Krone mit und ohne Zement in Achsenrichtung an, d.h. um wieviel Mikron die Krone nach dem Zementieren höher auf dem Stumpf sitzt. Diese Größe wird als "zervikale Diskrepanz" bezeichnet, denn sie ist das Maß für den vertikalen Abstand zwischen Kronenrand und Präparationsgrenze nach dem Zementieren.

Aus der zervikalen Diskrepanz ( $a$ ) und dem Konvergenzwinkel ( $\alpha$ ) des Zahnstumpfes läßt sich in diesem Falle, da es sich um einfache, geometrische Formen handelt (Kegelstümpfe), die Schichtdicke ( $f$ ) des Zementes zwischen Stumpf und Krone auf der Mantelfläche des Stumpfes nach der folgenden Formel berechnen :

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{f}{a}$$
$$f = \sin \frac{\alpha}{2} \cdot a$$

In Abb. 5 werden die Größen dargestellt.

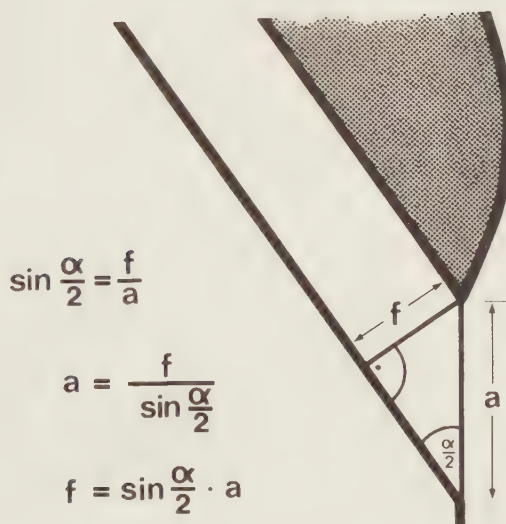


Abb. 5 Die Beziehungen zwischen der zervikalen Diskrepanz ( $a$ ), der Schichtdicke ( $f$ ) und dem Konvergenzwinkel ( $\alpha$ )

### 3.4 Allgemeine Ergebnisse anhand theoretischer Überlegungen

Aus der Formel lassen sich Ergebnisse weitgehend vorhersagen. Wird angenommen, daß die minimale Schichtdicke eines Zementes bei ausreichendem Zementierungsdruck und idealen Verhältnissen, wie z.B. im Laborversuch, in gewissen Grenzen eine Materialkonstante ist, so wird die zervikale Diskrepanz unter gleichen Zementierungsbedingungen nur durch den Konvergenzwinkel bestimmt. Eigene Filmdickenmessungen und Angaben in der Literatur (CRAMER (3)), DREYER-JØRGENSEN (7)) lassen die Annahme eines solchen konstanten Wertes zu.

Nach der oben genannten Formel :  $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{f}{a}$  heißt das :

Da die minimale Schichtdicke (f) als konstant anzusehen ist, ist die zervikale Diskrepanz (a) dem Konvergenzwinkel ( $\alpha$ ) indirekt proportional :

$$\sin \frac{\alpha}{2} = f \cdot \frac{1}{a}$$

Mit anderen Worten : Je größer der Konvergenzwinkel der Stumpfpräparation, d.h. je flacher präpariert wurde, umso kleiner wird die zervikale Diskrepanz. Dies verdeutlicht die schematische Darstellung in Abb. 6.

Auf verschiedenen Präparationsformen angewandt, stellt sich das Verhältnis von Schichtdicke, Präparationswinkel und zervikaler Diskrepanz wie in der Abbildung 7 gezeigt wird, dar.

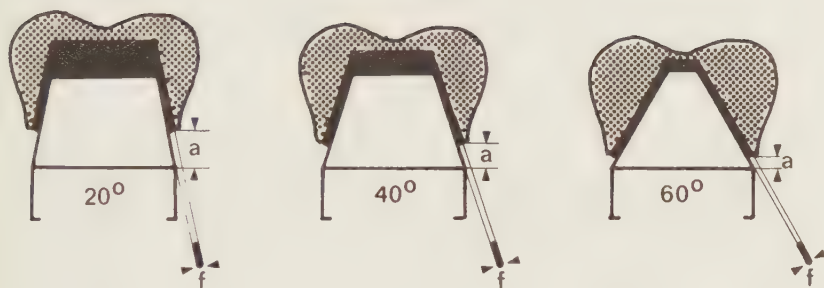


Abb. 6 Die zervikale Diskrepanz (a) in Abhängigkeit vom Konvergenzwinkel bei gleicher Zementschichtdicke (f)

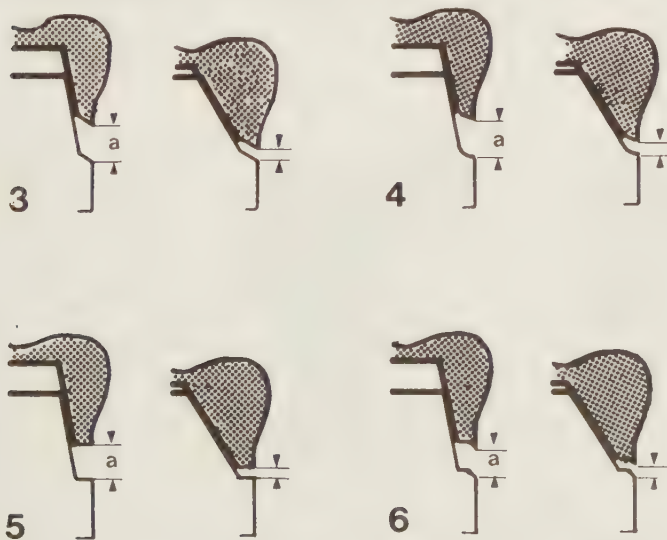


Abb. 7 Die zervikale Diskrepanz bei Stufenpräparationen am Beispiel der Formen 3, 4, 5 und 6 (vergl. Abb. 6)

Aus diesen Schemazeichnungen läßt sich aber auch für die klinische Auswirkung der zervikalen Diskrepanz folgendes schließen :

Es steht fest, daß der Zement immer den genauen Sitz des Kronenrandes auf der Präparationsgrenze verhindert (HEGDAHL und SILLNESS (16)), daher ist klinisch die Größe der exponierten Zementfläche bedeutsam.

Nimmt man an, daß die Schichtdicke des Zementes auf der Mantelfläche des Zahnstumpfes bei allen Präparationsformen gleichen Konvergenzwinkels unter gleichen Zementierungsbedingungen gleich ist, so ist auch die zervikale Diskrepanz gleich groß.

Wird der Zementüberschuß nach dem Einsetzen einer Krone entfernt, d.h. am Ende des Kronenrandes abgebrochen, so ist bei den stufigen Präparationen eine Zementschicht in der Stärke der zervikalen Diskrepanz (a) exponiert; bei den einfach-konischen Präparationen aber nur in der Stärke der Schichtdicke (f) (Abb. 8).

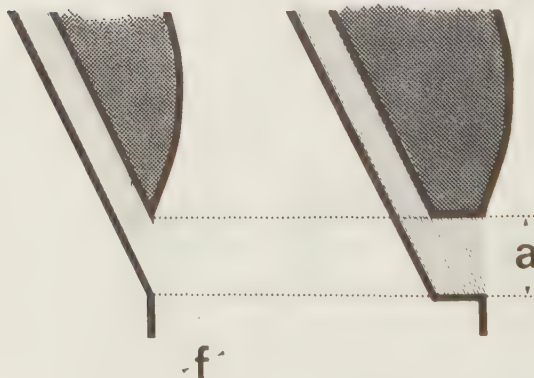


Abb. 8 Exponierte Zementschicht bei stufenloser und Stufenpräparation

f : Schichtdicke auf der Mantelfläche  
a : zervikale Diskrepanz

Nachteilig ist, daß bei dem einfach-konisch beschliffenen Zahnstumpf ein Teil der Präparationsgrenze freiliegt. Es ergeben sich aber keine Nischen, die die Sekundärkaries begünstigen könnten. Bei den Stufenpräparationen kommt es durch Auswaschungen der großen, freiliegenden Zementflächen zu dieser Nischenbildung, denn die zervikale Diskrepanz ( $a$ ) ist in der Regel erheblich größer als die Schichtdicke ( $f$ ). Die unvermeidlich freiliegende Präparationsfläche bei den einfach-konischen Präparationen erscheint weniger gefährdet als die freien Zementflächen bei den Stufenpräparationen, solange es noch keinen wirklich mundbeständigen Befestigungszement gibt.

Eine Ausnahme bildet hier die Präparation einer Stufe mit Federrand (Modell 6). Diese relativ komplizierte Form läßt jedoch eine Behinderung des Zementabflusses und damit schlechtere Werte erwarten. Genaueres können hierüber nur die vergleichenden Versuche aussagen.

### 3.5 Versuchsergebnisse

Vor Beginn der eigentlichen Versuche war es nötig, die Filmdicken der verwendeten Zemente erneut zu überprüfen. Die Gleichmäßigkeit des Anrührens sollte kontrolliert werden, und die Filmdickenmessungen nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 sollten mit den Ergebnissen der Versuche an stilisierten Kronen verglichen werden, die den klinischen Gegebenheiten eher entsprechen.

Zur Filmdickenbestimmung werden zwei runde, planparallele Glasplatten mit einer Fläche von  $2\text{ cm}^2$  verwendet. Als Belastungseinrichtung diente hier wie in den Hauptversuchen das Haake-Konsistometer. Die Messung der Plattenstärke mit und ohne Zement erfolgte mit einer Feinmeßschraube. Im einzelnen wurden die Anweisungen der FDI-Spezifikation Nr. 6 genau befolgt. Folgende Ergebnisse wurden gewonnen (Tab. 1) :

| Tabelle 1                     |                            | FILMDICKENMESSUNGEN nach der FDI-Spezifikation Nr.6 |            |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------|
| HARVARD CEMENT schnellhärtend |                            |                                                     |            |
| Glasplatten<br>mit Zement     | Glasplatten<br>ohne Zement | Differenz =<br>Filmdicke                            | Mittelwert |
| 3,838                         | 3,816                      | 0,022                                               | 20 µm      |
| 3,838                         | 3,819                      | 0,019                                               |            |
| 3,836                         | 3,817                      | 0,019                                               |            |
| ODUS CEMENT rapid             |                            |                                                     |            |
| 3,867                         | 3,819                      | 0,048                                               | 50 µm      |
| 3,869                         | 3,820                      | 0,049                                               |            |
| 3,873                         | 3,819                      | 0,054                                               |            |

Die Durchführung der Hauptversuche erfolgte wie oben eingehend beschrieben. In der ersten Versuchsreihe wurden die Kronen mit dem Feinkornzement "Harvard Cement - schnellhärtend" <sup>1)</sup> mit 15 kp Zementierungsdruck aufgesetzt (in Tabelle 2 und den folgenden werden Mittelwerte angegeben). Die Einzelergebnisse und die Anzahl der Versuche, aus denen die Mittelwerte gewonnen wurden, sind dem Anhang zu entnehmen.

| Tabelle 2                          | FEINKORNZEMENT Mittelwerte 15 kp |    |    |    |    |    |
|------------------------------------|----------------------------------|----|----|----|----|----|
| Versuchsform                       | 1                                | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| zervikale Diskrepanz $\mu\text{m}$ | 94                               | 46 | 19 | 25 | 40 | 47 |
| Schichtdicke $\mu\text{m}$         | 13                               | 12 | 3  | 4  | 6  | 7  |

Zum Vergleich erfolgte die Zementierung der zweiten Versuchsreihe mit dem Mittelkornzement "Odus rapid" <sup>2)</sup> (Tab. 3).

| Tabelle 3                          | MITTELKORNZEMENT Mittelwerte 15 kp |     |    |     |     |     |
|------------------------------------|------------------------------------|-----|----|-----|-----|-----|
| Versuchsform                       | 1                                  | 2   | 3  | 4   | 5   | 6   |
| zervikale Diskrepanz $\mu\text{m}$ | 270                                | 154 | 91 | 174 | 201 | 144 |
| Schichtdicke $\mu\text{m}$         | 37                                 | 42  | 15 | 27  | 29  | 24  |

---

<sup>1)</sup> Hersteller : HARVARD Dental-Gesellschaft, Berlin

<sup>2)</sup> Hersteller : Firma ODUS, Zürich

Die Messungen der zervikalen Diskrepanz (a) zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen Mittel- und Feinkornzement. Die zervikale Diskrepanz (a) ist bei der Verwendung des Mittelkornzementes um das drei- bis fünffache größer als bei der Zementierung mit dem Feinkornzement. Was die Zementschicht (f) zwischen Krone und Stumpf anbetrifft, so zeigen sich entsprechend ebenfalls günstige Werte des Feinkornzementes. Es fällt auf, daß

1. die Stärke der Zementschicht bei den einzelnen Kronenformen unterschiedlich ist, und daß
2. die Zementschicht deutlich geringer ist als die nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 ermittelte Zementfilmdicke.

Um die Ursache dieser Ergebnisse zu klären, wurden weitere Versuche mit dem Feinkornzement durchgeführt. Auf weitere Versuche mit Mittelkornzement konnte verzichtet werden, da schon diese ersten Ergebnisse verdeutlichen, wie ungünstig sich grobkörnige Zementsorten auf den Sitz paßgenauer Kronen auswirken. Das wird auch durch Untersuchungen von DREYER-JØRGENSEN (7) u.a. bestätigt.

Das von der FDI-Spezifikation Nr. 6 angegebene Gewicht zur Bestimmung der Filmdicke beträgt 15 kp. Diese Kraft erscheint höher als die klinisch üblicherweise zum Zementieren angewandte Kraft. Fünf Versuchspersonen gaben bei einem Test am Haake-Konsistometer zwischen 3,5 kp und 5 kp als die von ihnen aufgewendete Kraft an. Die durchschnittliche Kraft betrug 4 kp. Mit diesem Gewicht wurde bei der nächsten Versuchsreihe zementiert. Doch auch hier ergaben sich, wie die Tabelle 4 zeigt, Unterschiede der Zementschichtdicke bei den einzelnen Kronenformen (Tab. 4).

| Tabelle 4                          | FEINKORNZEMENT Mittelwerte 4 kp |    |    |    |    |    |
|------------------------------------|---------------------------------|----|----|----|----|----|
| Versuchsform                       | 1                               | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| zervikale Diskrepanz $\mu\text{m}$ | 201                             | 74 | 35 | 36 | 53 | 54 |
| Schichtdicke $\mu\text{m}$         | 28                              | 20 | 6  | 6  | 8  | 9  |

Um die Bedingungen beim Zementieren der verschiedenen Formen noch weiter zu vereinheitlichen, mußte die Kraft beim Aufsetzen der Kronen den unterschiedlich großen Mantelflächen der kegelstumpffartigen Modelle angeglichen werden. Der einheitliche Zementierungsdruck betrug  $4 \text{ kp/cm}^2$ . Zum besseren Vergleich wurde noch eine weitere einfach-konische Präparationsform in die Versuchsreihe mit einbezogen (Form 7, Maßzeichnung s. Anhang Abb. 9). Ihre Mantelfläche entspricht denen der stufigen Formen, die Art der Präparation der der Form 1. Die Meßwerte sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

| Tabelle 5                               | FEINKORNZEMENT Mittelwerte $4 \text{ kp/cm}^2$ |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Versuchsform                            | 1                                              | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      |
| Mantelfläche $\text{mm}^2$<br>des Konus | 199,89                                         | 182,96 | 133,70 | 133,70 | 133,26 | 110,10 | 133,70 |
| zervikale Diskrepanz $\mu\text{m}$      | 119                                            | 56     | 33     | 34     | 35     | 53     | 28     |
| Schichtdicke $\mu\text{m}$              | 16                                             | 15     | 4      | 5      | 5      | 9      | 4      |

Die Zementschichtdicke ist bei den Formen mit entsprechender Mantelfläche gleich. Eine Ausnahme macht die Form der Stufenpräparation mit Federrand. Hier ist die Schichtdicke annähernd doppelt so groß. Ebenso fällt auf, daß die beiden ersten Formen deutlich höhere Werte zeigen als die folgenden.

### 3.6 Statistische Bewertung der Meßreihen

Zur Feststellung, ob die Ergebnisse der einzelnen Meßreihen trotz individuell unterschiedlicher Einzelergebnisse überhaupt als einheitlich zu werten sind, wurden die Messungen statistisch ausgewertet.

Zur Berechnung der Standardabweichung diene die Formel :

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}} \quad (\text{Formel nach SACHS (26)})$$

Der Variationskoeffizient ergab sich in Prozent des Ergebnisses nach der Formel :

$$V = \frac{s \cdot 100}{\bar{x}} \quad (\text{Formel nach SACHS (26)})$$

In der Tabelle 6 sind die arithmetischen Mittelwerte ( $\bar{a}$ ) der ermittelten zervikal Diskrepanzen, die Standardabweichung ( $s$ ) und die Variationskoeffizienten ( $V$ ) der einzelnen Meßreihen angegeben .

Als signifikant kann der Mittelwert einer Meßreihe angesehen werden, deren Variationskoeffizient kleiner als 30% ist (SACHS (26)). Bis auf eine Meßreihe (Feinkornzement 15 kp, Form 4) entsprechen alle übrigen diesen Anforderungen. Derartige große Schwankungen scheinen durch die in Einzelfällen beträchtlichen Korngrößenunterschiede der verwendeten Zementsorte bedingt zu sein. Zu entsprechenden Beobachtungen kam es bei den eigenen Filmdickenbestimmungen. Hier konnte für ein plötzliches Ansteigen der Filmdicke stets ein schon mit unbewaffnetem Auge erkennbarer großer Zementkorn festgestellt werden. Eine

| Tabelle 6                              |           | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  |
|----------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Mittelkornzement<br>15 kp              | $\bar{a}$ | 270 | 154 | 91  | 180 | 200 | 144 | -  |
|                                        | s         | 9   | 6   | 9   | 6   | 9   | 6   |    |
|                                        | v         | 4%  | 4%  | 10% | 4%  | 4%  | 4%  |    |
| Feinkornzement<br>15 kp                | $\bar{a}$ | 94  | 46  | 15  | 25  | 40  | 47  | -  |
|                                        | s         | 17  | 8   | 4   | 8   | 9   | 6   |    |
|                                        | v         | 18% | 17% | 2%  | 34% | 22% | 12% |    |
| Feinkornzement<br>4 kp                 | $\bar{a}$ | 201 | 74  | 35  | 36  | 53  | 54  | -  |
|                                        | s         | 53  | 10  | 3   | 4   | 8   | 6   |    |
|                                        | v         | 26% | 13% | 10% | 12% | 15% | 11% |    |
| Feinkornzement<br>4 kp/cm <sup>2</sup> | $\bar{a}$ | 118 | 56  | 33  | 34  | 34  | 53  | 28 |
|                                        | s         | 13  | 3   | 5   | 4   | 4   | 7   | 2  |
|                                        | v         | 11% | 5%  | 14% | 11% | 12% | 12% | 6% |

zufällige Häufung dieses Ereignisses kann bei der relativ kleinen Anzahl der Einzelmessungen sehr wohl den Mittelwert verfälschen. Die große Zahl der ähnlichen Meßreihen läßt jedoch eine kritische Wertung des Einzelergebnisses zu.

Betrachtet man die Ergebnisse der Versuche, bei denen der Zementierungsdruck auf die Mantelfläche des Zahnstumpfes bezogen war (Tab. 5), so fällt auf, daß die Werte sich in drei Gruppen aufgliedern lassen :

1.           Werte der Formen 1 und 2
2.           Werte der Formen 3, 4, 5 und 7
3.           Werte der Form 6.

Mit den Formen 1 und 2 ergeben sich zwar unterschiedliche Werte für die zervikale Diskrepanz wegen ihrer unterschiedlichen Konvergenzwinkel, jedoch ist die Schichtdicke des Zementes zwischen Konus und Krone gleich und liegt bei  $15\text{ }\mu\text{m}$ . Die Versuche mit den übrigen Formen (ausgenommen der Form 6) zeigen weitgehend identische Werte für die Schichtdicke (bei  $5\text{ }\mu\text{m}$ ) und wegen der ähnlichen Konvergenzwinkel auch keine statistisch signifikanten Unterschiede in der zervikalen Diskrepanz. Bei der Form 6 sind trotz ähnlicher Mantelfläche und Konvergenzwinkel die zervikale Diskrepanz und somit auch die Zementschichtdicke größer als bei den Formen 3, 4, 5 und 7.

Auch die Zementierungsversuche mit 15 kp und 4 kp lassen sich in gleicher Weise gruppieren, nur liegen die Werte innerhalb der zweiten Gruppe für die Form 5 stets höher als die für die Formen 3 und 4.

Zwischen den Zementschichtdicken, die sich beim Zementieren mit 15 kp und mit  $4 \text{ kp/cm}^2$  ergeben, ist ein Unterschied statistisch nicht gesichert. Die erreichte Schichtdicke bei  $4 \text{ kp/cm}^2$  Druck ist als minimale Schichtdicke anzusehen. Bei den Versuchen mit dem Mittelkornzement ist die Gruppierung nicht so eindeutig. Wie aber weiter oben schon erläutert, zeigen diese Ergebnisse die Nachteile der grobkörnigen Zementsorten bereits deutlich auf.

#### 4. DISKUSSION

Die theoretischen Überlegungen besagten, daß bei allen Präparationsformen eine gleich große Zementschichtdicke zwischen Konus und Krone zu erwarten ist, da eine gleichartige Zementpaste benutzt wurde und die Versuchsbedingungen identisch waren.

Diese Überlegungen werden durch die praktischen Versuche nicht in jeder Hinsicht bestätigt. Die Ergebnisse lassen Unsicherheitsfaktoren vermuten, die zusätzlich zu den eingangs erwähnten Faktoren auf das Zementieren von Kronen einen Einfluß haben, ohne genauer bekannt zu sein. Eine plausible Erklärung für die Unterschiede der Schichtdicke zwischen den Versuchen mit den Formen Nr. 1 und Nr. 2 sowie den Versuchen mit den anderen Formen ist trotz entsprechenden Druckes pro Mantelfläche nicht erkennbar.

Die Größe der okklusalen Fläche des Zahnstumpfes, die nicht bei der Flächenberechnung berücksichtigt wurde, kann nicht die Ursache für die unterschiedlichen Schichtdicken sein, denn die Form Nr. 2 und die Formen Nr. 3, 4, 7 haben gleichgroße okklusale Flächen.

Der einzig bedeutsame Unterschied ist die Mantelfläche des Konus. Die Versuchsbedingungen müssen auch in bezug auf die Größenordnung der Konusfläche einheitlich sein, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Das zeigen die Messungen mit der einfach-konischen Form Nr. 7, die mit den Stufenpräparationen der Formen Nr. 3, 4, 5 und 6 vergleichbare Werte liefert (Tab. 5, S. 29).

Die größere Zementschichtdicke zwischen Krone und Zahnstumpf bei der Form Nr. 6 ist ohne Zweifel durch die Behinderung des Zementabflusses auf Grund der komplizierteren scharfkantigen Randgestaltung bedingt. Bei niederen Kräften macht sich

das auch bei der Form Nr. 5 mit ihrer rechtwinkligen Stufe bemerkbar. Vergleicht man aber die Ergebnisse der Versuchsformen Nr. 1 und Nr. 2 und der Versuchsformen Nr. 3, 4, 5 und 7 untereinander, von Formen also, die ähnliche Bedingungen auch in bezug auf die Mantelfläche bieten, so werden die theoretischen Überlegungen vollauf bestätigt. Die minimale Schichtdicke kann unter diesen Bedingungen weitgehend als Materialkonstante angesehen werden, sodaß wirklich die Formel gilt :

Die zervikale Diskrepanz ist dem Konvergenzwinkel indirekt proportional.

Aus den Versuchsergebnissen folgt weiter, daß einfach-konische Präparationen oder Präparationen mit gerader, schräger oder gekehlter Stufe keinen statistisch gesicherten Einfluß auf die zervikale Diskrepanz haben.

Nur die komplizierte Präparation mit gerader Stufe und Federrand vergrößert die zervikale Diskrepanz, sodaß sich die Vorteile, die ein Federrand bieten könnte, nicht auswirken. Die Krone auf dem Stumpf Nr. 6 steht nach dem Zementieren um ca. 20  $\mu\text{m}$  höher als die Kronen auf den Stümpfen Nr. 3, 4, 5 und 7 nach dem Zementieren.

Auch die Überlegungen zur exponierten Zementfläche werden von den Versuchen bestätigt. Bei den einfach-konischen Präparationsformen ist nach dem Abbrechen des Zementüberschusses nur Befestigungszement der Schichtdicke (f) sichtbar, während die Stufenpräparationen Zement in der Stärke der zervikalen Diskrepanz (a) exponieren (s. Abb. 8, S. 24). Die Meßergebnisse zeigen, daß die stufigen Präparationen eine ungefähr siebenmal größere Zementschicht dem Mundmilieu aussetzen.

Ein bemerkenswertes Ergebnis sind die absoluten Werte der Schichtdickenbestimmung der Zemente verglichen mit den Ergebnissen der Filmdickenbestimmung nach der FDI-Spezifikation Nr. 6. Die Werte bei den Zementierungen der Kronen unterschreiten diese Werte nach der Spezifikation beträchtlich. Vergleicht man zum Beispiel den Wert der Form Nr. 1, die eine Mantelfläche von etwa  $2 \text{ cm}^2$  hat, wie sie die planen Platten zur Filmdickenbestimmung ebenfalls aufweisen, so steht eine Schichtdicke von  $13 \text{ }\mu\text{m}$  gegen eine Filmdicke von  $20 \text{ }\mu\text{m}$  bei gleicher Belastung mit  $15 \text{ kp}$ .

Der Filmdickenwert ließ sich also um rund 30% senken. Bei den Zementierungsversuchen wird der Zement zwischen schräg aufeinandergleitenden Flächen herausgepreßt; bei dem Versuch nach der FDI-Spezifikation Nr. 6 aber zwischen planen, horizontal zur Kraft liegenden Flächen. Die Verringerung der Schichtdicke bei der Zementierung der Kronen scheint durch ein weiteres Zermahlen der Zementkörner während der schrägen Gleitbewegung hervorgerufen zu werden.

Vergleicht man die Ergebnisse mit den Angaben der Literatur, so fanden sowohl CRAMER (3) als auch DREYER-JØRGENSEN (7), daß der Grenzwert für die Schichtdicke bei einem Zementierungsdruck von  $4,5 \text{ kp}$  bzw.  $5 \text{ kp}$  erreicht wird. Die eigenen Versuche bestätigen das, denn zwischen den Werten für die Schichtdicke beim Zementieren mit  $15 \text{ kp}$  und  $4 \text{ kp/cm}^2$  (das entspricht bei den Formen Nr. 3, 4, 5 und 7 einem Gewicht von  $5,3 \text{ kp}$ ) ist kein signifikanter Unterschied feststellbar (s. Tab. 2, S. 27 und Tab. 5, S. 29).

Die Ansicht von HEGDAHL und SILLNESS (16), daß beim Zementieren niemals Präparationsgrenze und Kronenrand aufeinander zu liegen kommen, kann insofern bestätigt werden als es keinen zervikalen Randschluß der paßgenauen Kronen gegeben hat, sondern nur eine mehr oder minder große zervikale Diskrepanz.

DREYER-JØRGENSEN (7) und auch FUSAYAMA, IDE und HOSADA (14) fanden ebenfalls eine Vergrößerung der zervikalen Diskrepanz bei Verringerung des Präparationswinkels, ohne aber den formellen Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen als wesentlichen Faktor zu beachten.

Die eigenen Beobachtungen, daß bei der einfach-konischen Präparation die exponierte Zementfläche viel kleiner ist als bei den stufigen Präparationen, werden durch die Überlegungen von HEGDAHL und SILLNESS (16) bestätigt. Die Versuchsreihen von FUSAYAMA u.a. (14) können nicht als Bestätigung dienen, da der gleiche Modellstumpf auf der einen Seite stufig und auf der anderen Seite flach-konisch präpariert war. Der Einfluß beider Präparationsarten ist bei diesen Versuchen nicht unabhängig von einander zu werten.

Die Ansicht PLISCHKAS (24), daß die Hohlkehlenpräparation einen besseren Zementabfluß gestattet und somit die zervikale Diskrepanz verringert, kann durch die Versuchsergebnisse nur bedingt unterstützt werden. Nur die komplizierte Randgestaltung mit Stufe und Federrand und bei niederen Zementierungskräften die gerade, rechtwinklige Stufe können als Zementabflußbehinderung angesehen werden.

Die Ansichten und Methoden, den Zementabfluß zu erleichtern und dadurch die zervikale Diskrepanz zu verringern, sind, wie in der Literaturübersicht aufgeführt, vielfältig. Meßergebnisse dazu liegen insbesondere von DREYER-JØRGENSEN (7) vor. Er fand bei seinen Untersuchungen eine Verringerung der zervikalen Diskrepanz nach okklusaler Perforation der Krone. Bei seinen verschiedenen Meßreihen variiert er aber Zementierungsdruck, Dauer des Druckes und Pulver/Flüssigkeitsverhältnis gleichzeitig. Die Bedingungen für die Vergleichsuntersuchungen stimmen also nicht überein. Zudem ist die von ihm als Beweis angeführte Präparation mit einem Konvergenzwinkel von  $5^{\circ}$  extrem steil. Er selbst gibt an anderer Stelle (5) einen Präparationswinkel zwischen  $15^{\circ}$  und  $20^{\circ}$  als klinisch optimal an.

Die Konvergenzwinkel der bei den eigenen Untersuchungen verwendeten Versuchsförmlichkeiten liegen im Bereich dieser Empfehlung. Andererseits ist aus den Literaturstudien bekannt (LANGE (18)), daß das Einfüllen einer größeren Zementmenge als zum Zementieren unbedingt erforderlich, das exakte Aufpassen der Krone verhindern kann. Deshalb wurden die Kronen der vorliegenden Versuche innen nur dünn mit Zement beschickt. Das Beschränken auf die eben notwendige Zementmenge vermied, daß beim Zementierungsvorgang unnötig viel überschüssiger Zement ausgepreßt werden mußte. So ist zu erklären, daß im Gegensatz zu den Versuchen anderer, die eigenen Versuche bei entsprechendem Vorgehen bereits zu minimalen Schichtdicken von 5 µm führten. Eine okklusale Perforation kann in diesen Fällen keine geringeren Schichtdicken ergeben. Auch DREYER-JØRGENSEN (7) gibt die kleinstmögliche Schichtdicke von Phosphatzementen mit 5 µm an. So erübrigt sich bei richtigem Vorgehen die klinisch ungünstige Perforation.

Die extremen Werte, die BASSETT (2) bei seinen Untersuchungen gefunden hat, lassen sich nicht durch die eigenen Versuche erklären. Er fand ohne Perforation Randspalten bis zu 170 µm, die sich durch okklusale Perforation auf 20 µm reduzieren ließen. Die von SULLIVAN (29) und BASSETT (2) angegebenen Methoden, im Kroneninnern Raum für den Zement zu schaffen, müssen als Fehlschluß abgelehnt werden. Dieser Raum hätte nur Sinn, wenn sich der überschüssige Zementbrei dahinein ausdehnen könnte, wie es eine okklusale Perforation erlaubt. Da dieser Raum aber vor dem Einsetzen der Kronen mit Zement gefüllt wird, ist die Idee unrealistisch. Ein zusätzlicher negativer Effekt läßt sich nach den Untersuchungen DREYER-JØRGENSENS (8) über die Filtration des Zementbreies in schmalen Spalten bei hohem Druck denken. An dem nicht ausgeätzten oder sonstwie ausgehöhlten Kronenrand kommt es zu einer Verengung des Zementabflußspaltes und somit zu einem Strömungshindernis mit Begünstigung der Filtration. Hierunter versteht DREYER-JØRGENSEN die Trennung von flüssiger und fester Phase, d.h. Säure und Pulver des Zementbreies. Die Dauerhaftigkeit dieser Zementierung dürfte im entscheidenden marginalen Randbereich zweifelhaft sein.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Obwohl es sich bei der vorliegenden Arbeit um Ergebnisse idealisierter Laborversuche handelt, können doch Folgerungen für die klinische Situation gezogen werden. Die Messungen stellen zwar nicht absolute Werte dar, sind wohl aber im Prinzip auf die Praxis zu übertragen. Die zervikale Diskrepanz ist klinisch vom Konvergenzwinkel abhängig, wenn hier auch noch größere Ungenauigkeitsfaktoren einkalkuliert werden müssen. Beim Präparieren der Zahnstümpfe zur Aufnahme von Kronen sollte demnach der Konvergenzwinkel so groß wie möglich sein. Der aus Gründen der Retention von DREYER-JØRGENSEN (5) angegebene maximale Konvergenzwinkel von  $15^{\circ}$  bis  $20^{\circ}$  wäre anzustreben.

Die einfach-konische Präparation exponiert dem Mundmilieu eine wesentlich geringere Zementfläche als die Stufenpräparationen. Die letzteren haben den weiteren Nachteil, daß sie mehr Zahnschubstanz beanspruchen. Somit muß auch, um die Pulpa nicht zu gefährden, steiler präpariert werden.

Ist jedoch klinisch eine Stufenpräparation erforderlich, so ist den schrägen und gekielten Stufen vor den rechtwinkligen Stufen und den komplizierten Präparationen mit Federrand der Vorzug zu geben, um den negativen Einfluß des Zementes auf den Randschluß der Kronen unter allen Umständen gering zu halten.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Fragen, inwieweit die Zementschicht den Sitz paßgenauer Kronen beeinträchtigt und durch welche Maßnahmen (Präparation, Kraft beim Zementieren) die Dicke dieser Zementschicht beeinflußt werden kann. Weiterhin konnte die Beziehung dargestellt werden, die zwischen der Zementschicht, der zervikalen Diskrepanz und dem Konvergenzwinkel bei verschiedenen Präparationsformen besteht. 180 Zementierungsversuche mit unterschiedlichen Kräften (zwischen 15 und 4 kp) wurden an stilisierten, drehrunden Zahnstümpfen und dazu exakt passenden Kronen vorgenommen. Als Befestigungszemente dienten ein Fein- und ein Mittelkornzement.

Aus den Messungen ergab sich, daß die Schichtdicke des Zementes bei gleichen Zementierungsbedingungen, d.h. auch bei gleicher Stumpfgröße, bei allen Formen auf der Mantelfläche der Stümpfe gleich groß war. Die zervikale Diskrepanz war in solchen Fällen nur vom Konvergenzwinkel abhängig. Dies ließen auch die theoretischen Berechnungen erwarten. Eine Ausnahme stellte die komplizierte Präparationsform "Stufe mit Federrand" dar. Hier war der Zementabfluß behindert, sodaß die minimale Schichtdicke anderer Formen nicht erreicht werden konnte.

Stufenpräparationen führen stets dazu, daß die zervikal exponierte Zementfläche größer ist als bei den einfach-konischen Präparationen.

Das Befestigungsmittel verhindert immer den exakten Randschluß. Kronenrand und Präparationsgrenze kommen nie aufeinander zu liegen.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

- 1) AMERICAN DENTAL ASSOCIATION : Guide to Dental Materials  
Chicago 1966 3. Auflage
  
- 2) BASSETT, R.W. Solving the problems of cementing the  
full veneer cast gold crown  
J.Prosth. Dent. 16, 740  
(1966)
  
- 3) CRAMER, H.-G.: Systematische Untersuchungen über  
physikalische Eigenschaften verschie-  
dener Zinkphosphat Zemente unter be-  
sonderer Berücksichtigung der Filmdicke  
und ihrer Abhängigkeit von der Korn-  
größenverteilung des Zementpulvers  
Med. Diss. Mainz, 1966
  
- 4) DEMMEL, H.-J. : Welche Zinkphosphatzemente können  
dem Zahnarzt nach der FDI-Spezifi-  
kation Nr. 6 empfohlen werden  
Dtsch.zahnärztl. Z. 23, 1462  
(1968)
  
- 5) DREYER-JØRGENSEN, K. : Investigation on dental precision casting  
technic  
Odont. T. 62, 443  
(1954)
  
- 6)                "- : Relationship between retention and  
convergence angle in cemented veneer  
crowns  
Acta odont. scand. 13, 35  
(1955)
  
- 7)                "- : Factors affecting the film thickness of  
zinc phosphate cement  
Acta odont. scand. 18, 479  
(1960)

- 8) DREYER-JØRGENSEN, K. :  
Structure of the film of zinc phosphate cements  
Acta odont. scand. 18, 491  
(1960)
  
- 9)                    "- :  
The grain size of zinc phosphate cements  
Acta odont. scand. 21, 255  
(1963)
  
- 10) EICHNER, K. :  
Der Kronenrand und das marginale Parodontium aus klinischer Sicht  
Dtsch.zahnärztl. Z. 24, 741  
(1969)
  
- 11) FEDERATION DENTAIRE INTERNATIONALE :  
Spezifikation Nr. 6 für Phosphatzement  
Zahnärztl. Mitt. 57, 285  
(1967)
  
- 12) FUSAYAMA, T. :  
Faktoren und Technik beim Präzisionsguß  
Quintess. Zahnärztl. Lit. 10, 25 (1959)  
cit : J.prosth. Dent. 9, 468  
(1959)
  
- 13) FUSAYAMA, T., IDE, K. und HOSADA, H. :  
Cement thickness between cast restorations and preparation walls  
J.prosth. Dent. 13, 354  
(1963)
  
- 14)                    "- :  
Relief of resistance of cement full cast crowns  
J. prosth. Dent. 14, 95-106  
(1964)
  
- 15) GODT, H. :  
Korngröße und Filmdicke verschiedener Phosphatzemente  
Dtsch.zahnärztl. Z. 18, 491  
(1963)

- 16) HEGDAHL, T., SILLNESS, J. : Area of the exposed zinc phosphate cement surface in fixed restorations  
Odont. T. 77, 1-15  
(1969)
- 17) JONES, R.R. : A full gold crown, cast and readapted  
J.Amer.Dent. Ass. 34, 605  
(1947)
- 18) LANGE, F. : Experiments on cementation of crowns  
Tandlaegebladet 50, 181  
(1955)
- 19) OEHLKE, W. : Die klinische Ungenauigkeit von Gußfüllungen bei der Verwendung von ausgewählten, zahnärztlichen Edelmetall-Legierungen  
Med.Diss., Berlin 1968
- 20) PAFFENBARGER, G.C., BEALL, F.R. : American dental association specification No. 8 for dental zinc phosphate cement : first revision, effective July 1, 1938  
J.Amer.Dent.Ass. 24, 2019  
(1937)
- 21) PAFFENBARGER, G.C., SWEENEY, W.T., ISAACS, A. : Zinc phosphate cements : physical properties and a specification  
J.Amer.Dent.Ass. 21, 1907  
(1934)
- 22) PHILLIPS, R.W., NORMAN, R.D., SWARTZ, M.L. : Studies on film thickness, solubility, and marginal leakage of dental cements  
J.Dent.Res. 42, 950  
(1963)
- 23) PHILLIPS, R.W., SKINNER, E.W. : The science of dental materials  
Philadelphia, 1960

- 24) PLISCHKA, G. :  
Präparation des Zahnstumpfes für Voll-  
gußkronen mit oder ohne Stufe ?  
Die Hohlkehlenpräparation  
Dtsch.zahnärztl.Z. 16, 1082  
(1961)
- 25) PORSCHE, A. :  
Die Eignung der Zinnoxid-Phosphatze-  
mente als Befestigungsmittel  
Dtsch.zahnärztl. Z. 16, 87  
(1961)
- 26) SACHS, L. :  
Statistische Auswertungsmethoden  
Berlin-Heidelberg, 1968
- 27) SELBERG, A. :  
A full cast crown technique  
J.prosth.Dent. 7, 102  
(1957)
- 28) SHOOSHAN, E.D. :  
Full veneer cast crown  
J.South California Dent.Ass. 23, 27  
(1955)
- 29) SULLIVAN, E.J. :  
Cementation and esthetic problems in  
crown and bridge procedures  
J.Amer.Dent.Ass. 51, 34  
(1955)
- 30) WEIKART, P. :  
Zum Thema "Präzisionsguß"  
Zahnärztl. Welt 10, 90  
(1955)
- 31) ZÄHRINGER, W. :  
Guß- und Angußkronen. Untersuchungen  
über die Paßgenauigkeit in Abhängigkeit  
vom Präparationswinkel  
Med.Diss.München, 1963

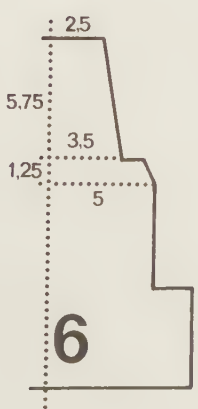
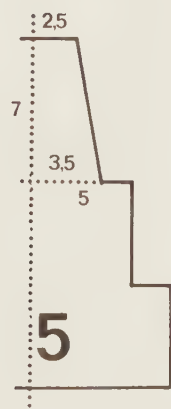
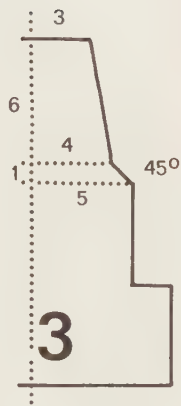
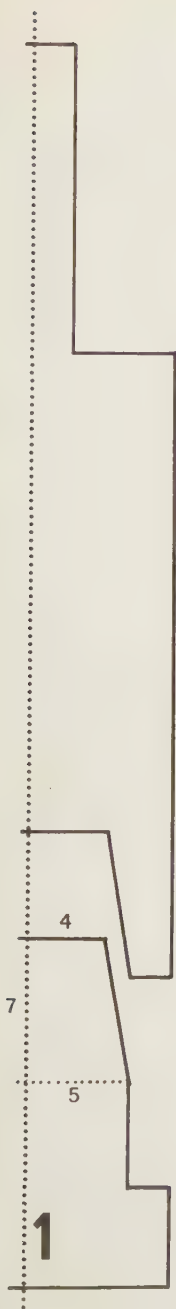
## 8. ANHANG

Maßzeichnungen der Prüfformen

Tabellen der Einzelergebnisse der Meßreihen

Abb. 9

Maßzeichnungen der Versuchsformen Nr. 1 - 7  
 Maßstab 4 : 1 Maßangaben in mm



| TABELLE 7 |                              | Maße, Konvergenzwinkel |                           |
|-----------|------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Form      | Konvergenzwinkel<br>$\alpha$ | $\frac{\alpha}{2}$     | Mantelfläche<br>des Konus |
| 1         | $16^{\circ}$                 | $8^{\circ}$            | $199,89 \text{ mm}^2$     |
| 2         | $32^{\circ}$                 | $16^{\circ}$           | $182,96 \text{ mm}^2$     |
| 3         | $20^{\circ}$                 | $10^{\circ}$           | $133,70 \text{ mm}^2$     |
| 4         | $18^{\circ}$                 | $9^{\circ}$            | $133,70 \text{ mm}^2$     |
| 5         | $17^{\circ}$                 | $8,5^{\circ}$          | $133,26 \text{ mm}^2$     |
| 6         | $20^{\circ}$                 | $10^{\circ}$           | $110,10 \text{ mm}^2$     |
| 7         | $18^{\circ}$                 | $9^{\circ}$            | $133,70 \text{ mm}^2$     |

| TABELLE 8 Form 1 Einzelwerte [ $\mu\text{m}$ ] |    |                |    |      |    |                      |    |
|------------------------------------------------|----|----------------|----|------|----|----------------------|----|
| Mittelkornzement                               |    | Feinkornzement |    |      |    |                      |    |
| 15 kp                                          |    | 15 kp          |    | 4 kp |    | 4 kp/cm <sup>2</sup> |    |
| a                                              | f  | a              | f  | a    | f  | a                    | f  |
| 287                                            | 39 | 081            | 11 | 270  | 38 | 133                  | 18 |
| 270                                            | 37 | 112            | 16 | 232  | 32 | 131                  | 18 |
| 273                                            | 38 | 081            | 11 | 113  | 16 | 118                  | 16 |
| 281                                            | 39 | 079            | 11 | 197  | 27 | 101                  | 14 |
| 265                                            | 36 | 076            | 11 | 185  | 26 | 111                  | 15 |
| 272                                            | 37 | 079            | 11 | 210  | 29 |                      |    |
| 271                                            | 37 | 105            | 15 |      |    |                      |    |
| 261                                            | 36 | 098            | 14 |      |    |                      |    |
| 264                                            | 36 | 120            | 17 |      |    |                      |    |
| 259                                            | 36 | 111            | 15 |      |    |                      |    |
| 270                                            | 37 | 94             | 13 | 201  | 28 | 118                  | 16 |

| TABELLE 9 Form 2 Einzelwerte [ $\mu\text{m}$ ] |    |     |    |    |    |    |    |
|------------------------------------------------|----|-----|----|----|----|----|----|
| 152                                            | 41 | 062 | 17 | 63 | 17 | 59 | 16 |
| 153                                            | 42 | 052 | 14 | 81 | 22 | 53 | 14 |
| 150                                            | 41 | 047 | 13 | 79 | 22 | 56 | 15 |
| 151                                            | 41 | 034 | 9  |    |    |    |    |
| 154                                            | 42 | 038 | 10 |    |    |    |    |
| 162                                            | 44 | 047 | 13 |    |    |    |    |
| 149                                            | 41 | 046 | 13 |    |    |    |    |
| 161                                            | 44 | 041 | 11 |    |    |    |    |
| 164                                            | 45 | 046 | 13 |    |    |    |    |
| 149                                            | 41 | 046 | 13 |    |    |    |    |
| 155                                            | 42 | 46  | 13 | 74 | 20 | 56 | 15 |

| TABELLE 10 Form 3 Einzelwerte [ $\mu\text{m}$ ] |    |                |   |      |   |                      |   |
|-------------------------------------------------|----|----------------|---|------|---|----------------------|---|
| Mittelkornzement                                |    | Feinkornzement |   |      |   |                      |   |
| 15 kp                                           |    | 15 kp          |   | 4 kp |   | 4 kp/cm <sup>2</sup> |   |
| a                                               | f  | a              | f | a    | f | a                    | f |
| 98                                              | 17 | 9              | 2 | 35   | 6 | 20                   | 3 |
| 79                                              | 13 | 19             | 3 | 32   | 6 | 29                   | 5 |
| 101                                             | 17 | 20             | 3 | 39   | 7 | 30                   | 5 |
| 93                                              | 16 | 16             | 3 |      |   | 28                   | 4 |
| 107                                             | 18 | 19             | 3 |      |   | 19                   | 3 |
| 86                                              | 14 | 16             | 3 |      |   | 25                   | 4 |
| 81                                              | 14 | 13             | 2 |      |   |                      |   |
| 81                                              | 14 | 12             | 2 |      |   |                      |   |
| 92                                              | 15 |                |   |      |   |                      |   |
| 92                                              | 15 |                |   |      |   |                      |   |
| 91                                              | 15 | 15             | 3 | 35   | 6 | 33                   | 4 |

| TABELLE 11 Form 4 Einzelwerte [ $\mu\text{m}$ ] |    |    |   |    |   |    |   |
|-------------------------------------------------|----|----|---|----|---|----|---|
|                                                 |    |    |   |    |   |    |   |
| 180                                             | 28 | 23 | 4 | 41 | 6 | 39 | 6 |
| 183                                             | 28 | 37 | 6 | 32 | 5 | 35 | 5 |
| 175                                             | 27 | 28 | 4 | 36 | 6 | 36 | 6 |
| 173                                             | 27 | 21 | 3 |    |   | 36 | 6 |
| 169                                             | 26 | 11 | 2 |    |   | 32 | 5 |
| 175                                             | 27 | 23 | 4 |    |   | 28 | 4 |
| 173                                             | 27 | 28 | 4 |    |   |    |   |
| 171                                             | 26 | 11 | 2 |    |   |    |   |
| 177                                             | 27 | 26 | 4 |    |   |    |   |
| 159                                             | 24 | 34 | 5 |    |   |    |   |
| 180                                             | 27 | 25 | 4 | 36 | 6 | 34 | 5 |

| TABELLE 12 Form 5 Einzelwerte [ $\mu\text{m}$ ] |    |                |   |      |   |                      |   |
|-------------------------------------------------|----|----------------|---|------|---|----------------------|---|
| Mittelkornzement                                |    | Feinkornzement |   |      |   |                      |   |
| 15 kp                                           |    | 15 kp          |   | 4 kp |   | 4 kp/cm <sup>2</sup> |   |
| a                                               | f  | a              | f | a    | f | a                    | f |
| 199                                             | 29 | 62             | 9 | 49   | 7 | 35                   | 5 |
| 199                                             | 29 | 42             | 6 | 49   | 7 | 43                   | 6 |
| 211                                             | 31 | 40             | 6 | 51   | 7 | 32                   | 4 |
| 197                                             | 29 | 30             | 4 | 52   | 7 | 32                   | 4 |
| 205                                             | 30 | 43             | 6 | 47   | 6 | 33                   | 4 |
| 219                                             | 32 | 32             | 5 | 50   | 7 | 32                   | 4 |
| 201                                             | 29 | 35             | 5 |      |   | 33                   | 4 |
| 193                                             | 28 | 41             | 6 |      |   |                      |   |
| 193                                             | 28 | 37             | 5 |      |   |                      |   |
| 192                                             | 28 | 42             | 6 |      |   |                      |   |
| 201                                             | 29 | 40             | 6 | 53   | 7 | 34                   | 4 |

| TABELLE 13 Form 6 Einzelwerte [ $\mu\text{m}$ ] |    |    |   |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------|----|----|---|----|----|----|----|
| 140                                             | 24 | 57 | 9 | 57 | 9  | 62 | 10 |
| 148                                             | 25 | 51 | 8 | 59 | 10 | 60 | 10 |
| 131                                             | 22 | 51 | 8 | 48 | 8  | 51 | 8  |
| 149                                             | 25 | 49 | 8 |    |    | 51 | 8  |
| 149                                             | 25 | 46 | 7 |    |    | 48 | 8  |
| 147                                             | 25 | 51 | 8 |    |    | 49 | 8  |
| 144                                             | 24 | 42 | 7 |    |    | 61 | 10 |
| 148                                             | 25 | 38 | 6 |    |    | 45 | 7  |
| 140                                             | 24 | 46 | 7 |    |    |    |    |
| 139                                             | 24 | 40 | 6 |    |    |    |    |
| 144                                             | 24 | 47 | 7 | 54 | 9  | 53 | 9  |

| TABELLE 14     |    | Form 7               |    | Einzelwerte |    | [μm] |              |
|----------------|----|----------------------|----|-------------|----|------|--------------|
| Feinkornzement |    | 4 kp/cm <sup>2</sup> |    |             |    |      |              |
| a              | 29 | 28                   | 32 | 28          | 30 | 27   | $\bar{a}$ 28 |
| f              | 4  | 4                    | 5  | 4           | 5  | 4    | $\bar{f}$ 4  |

Herrn Prof. Dr. Karl Eichner danke ich für die Anregung zur Dissertation, die Überlassung des Themas und die jederzeit freundlich gewährte Unterstützung.



## LEBENS LAUF

Am 9. Juni 1941 wurde ich als erste Tochter des Fachzahnarztes für Kieferchirurgie Dr. Hans Richter und seiner Ehefrau Else, geb. Axhausen, in Berlin geboren.

Durch die Kriegswirren kam meine Familie nach Lübeck, wo ich von 1947 bis 1951 die Grundschule und danach das Ernestinengymnasium von 1951 bis zum Abitur 1961 besuchte.

Im Sommersemester 1961 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Freien Universität Berlin, wo ich im Frühjahr 1964 das Physikum und im März 1967 das Staatsexamen ablegte.

Im September 1967 habe ich geheiratet. Nach einer einjährigen Assistententätigkeit in einer freien Praxis wurde im Dezember 1968 meine erste Tochter Susanne geboren. Im Mai 1969 begann ich meine Dissertation. Die zweite Tochter Ulrike wurde im April 1970 geboren.









